

**IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION SUBNANOSECONDE DES PROCESSUS DE
DÉVELOPPEMENT D'UNE DÉCHARGE DIFFUSE SOUS CHAMP ÉLECTRIQUE INTENSE**

**IDENTIFICATION AND SUBNANOSECOND CHARACTERIZATION OF THE DEVELOPMENT
PROCESSES OF A DIFFUSE DISCHARGE UNDER INTENSE ELECTRIC FIELD**

Etablissement **Université Paris-Saclay GS Physique**

École doctorale **Ondes et Matière**

Spécialité **Physique**

Unité de recherche **Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas**

Encadrement de la thèse **Pierre TARDIVEAU (detailResp.pl?resp=36121)**

Financement du 03-10-2022 au 26-09-2025 *origine* **Bourse doctorale EDOM Employeur Université Paris-Saclay**

Début de la thèse le **1 octobre 2022**

Date limite de candidature (à 23h59) **11 mai 2022**

Mots clés - Keywords

Plasmas froids, Décharges nanosecondes, Hors-équilibre, Diagnostics Laser, Champ électrique, Electrons rapides

Cold plasmas, Nanosecond discharges, Non-equilibrium, Laser diagnostics, Electric field, Fast electrons

Description de la problématique de recherche - Project description

La thèse a pour ambition d'explorer une physique encore très peu étudiée à ce jour, celle des plasmas de décharges hors-équilibre créés dans l'air par des champs électriques extrêmement transitoires et intenses. Lorsqu'un champ électrique de plusieurs centaines de kV/cm est appliqué à un gaz sur une échelle de temps sub-nanoseconde, comparable à la dynamique de développement d'une avalanche électronique, le développement des décharges change. Beaucoup plus volumique, diffuse et rapide qu'une onde d'ionisation de type streamer classique, cette nouvelle dynamique laisse penser que les mécanismes physiques impliqués sont différents ou bien que certains processus jusqu'alors négligés nécessitent d'être pris en compte à très fort champ. Parmi ces processus, la création d'électrons en régime d'accélération continue (électrons runaway) est tout à fait envisageable, pouvant entraîner l'émission d'un rayonnement X dans le gaz ou aux électrodes, ce qui remet partiellement en cause l'hypothèse de champ local utilisé dans les modèles fluides usuels. L'objectif principal du travail est donc de mettre en place une multiplicité de diagnostics expérimentaux suffisamment sensibles et résolus (spatialement et temporellement) pour identifier et caractériser ces mécanismes. Des diagnostics optiques et Laser innovants (E-FISH, CCS, Thomson scattering, Shack-Hartmann Interferometry) doivent permettre d'atteindre une résolution temporelle de plusieurs dizaines de picosecondes tout à fait adaptée à la dynamique de la décharge. Une configuration de type pointe-plan sera utilisée pour générer une décharge stable et reproductible. Les études pourront se faire en collaboration avec d'autres laboratoires de recherche français (LPP, Icare...) et internationaux (Japon, Tchéquie,...). Les données expérimentales obtenues seront comparées aux résultats des modèles actuellement en développement. La finalité du projet sera d'avoir caractérisé finement la distribution spatio-temporelle du champ électrique, la fonction de distribution en énergie des électrons, de faire la cartographie des densités des espèces primaires majoritaires (N_2^* , N, O,...) ainsi que de caractériser le rayonnement émis (UV, X...).

The thesis aims at investigating a physics still poorly studied up until now, about non equilibrium discharges induced plasmas created in air by extremely transient and intense electric fields. When electric fields of several hundreds of kV/cm are applied in air on a subnanosecond time scale, comparable to the dynamics of electronic avalanches development, a change in the behaviour of discharges is observed. Much more volumic and diffuse and much faster than a classical streamer ionization wave, this new dynamics suggests that the involved physical mechanisms are different or that some fundamental processes which are usually neglected needs to be considered at very high fields. Among those processes, the generation of electrons with continuous acceleration (runaway electrons) is completely possible, able to induce the emission of X-rays from the gas or the electrodes, which questions partially the local field equilibrium assumption used in classical fluid models. The main purpose of this work is then to set up a multiplicity of experimental diagnostics with high enough sensitivity

and resolution (in space and time) in order to identify and characterize those mechanisms. Innovative optical and Laser diagnostics (E-FISH, CCS, Thomson scattering, Shack-Hartmann Interferometry,...) can achieve temporal resolution as high as some tens of picoseconds, which is completely adapted to the discharge dynamics. A pin-to-plane type configuration will be used to generate a stable and reproducible discharge. The different studies could be done in collaboration with other french laboratories (LPP, Icare...) or international research groups (Japan, Czech Republic,...). The experimental data will be compared to the results given by models currently under development. The ultimate goal of the project will be to give a fine description of the field distribution in time and space, of the electron energy distribution function, to map out the densities of the main primary species (N_2^* , N, O,...) as well as characterize the light emission (UV, X...).

Thématique / Domaine / Contexte

Physique des plasmas hors-équilibre

Plasmas de décharge dans l'air à pression atmosphérique sous champ électrique intense

Le type de décharges considéré dans ce travail a fait l'objet d'un projet ANR de 5 ans terminé en février 2019 et de plusieurs thèses dont la dernière a été soutenue en décembre 2019. Les études ont permis une première caractérisation des décharges dans l'air sec et humide, ainsi qu'en présence d'acétone (mesure de densités d'espèces primaires, champ électrique, températures, certains radicaux en post-décharge) et de comprendre les effets des paramètres expérimentaux (caractéristiques de la haute tension, géométrie des électrodes, composition du gaz) sur la décharge. L'ensemble de ces résultats a pu être valorisé dans de nombreuses conférences internationales et a fait l'objet de plusieurs oraux invités, ce qui montre l'intérêt porté par la communauté scientifique à ce nouveau type de décharges électriques.

Objectifs

Les objectifs sont de comprendre les mécanismes de développement de décharges électriques dans l'air sous champ électrique intense et de déterminer en quoi elles se différencient des décharges de streamer classiques. Cela passe par la mise en place de diagnostics expérimentaux innovants et par la confrontation des résultats aux données issues des modèles numériques développés par d'autres équipes de recherche. Leur analyse doit également permettre d'identifier le potentiel de ce type de décharge pour diverses applications énergétiques et environnementales.

Méthode

Ces premières études, quoique conséquentes, ne sont pas exhaustives et nécessitent d'être poursuivies en affinant les résolutions spatiale et temporelle des diagnostics utilisés et en mettant en œuvre des diagnostics complémentaires. La difficulté d'obtenir des données suffisamment précises du fait des limites de résolution de certains diagnostics mais aussi des limites de leurs conditions d'application pousse à diversifier les techniques utilisées et accroître leur complémentarité.

Références bibliographiques

Brisset A., Tardiveau P., Gazeli K., Bournonville B., Jeanney P., Ouaras K., Magne L. and Pasquiers S., "Experimental study of the effect of water vapor on dynamics of a high electric field non-equilibrium diffuse discharge in air", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 54, 215204 (2021)

Brisset A., Guichard F., Cessou A. and Tardiveau P., "Energy relaxation and heating in the afterglow of high electric field ns-discharges in ambient air using spontaneous Raman scattering", *Plasma Sources Sci. Technol.* 30, 035013 (2021)

Brisset A., Gazeli K., Magne L., Pasquiers S., Jeanney P., Marode E. and Tardiveau P., "Modification of the electric field distribution in a diffuse streamer-induced discharge under extreme overvoltage", *Plasma Sources Sci. Technol.* 28, 055016 (2019)

T.-L. Chng, A. Brisset, P. Jeanney, S. Starikovskaia, I. Adamovich, P. Tardiveau, "Electric Field Evolution in a Diffuse Ionization Wave Nanosecond Pulse Discharge in Atmospheric Pressure Air", *Plasma Sources Sci. Technol.* 28, 09LT02 (2019)

Ouaras K., Magne L., Pasquiers S., Tardiveau P., Jeanney P., Bournonville B., "OH density measured by PLIF in a nanosecond atmospheric pressure diffuse discharge in humid air under steep high voltage pulses", *Plasma Sources Sci. Technol.*, 27, 045002 (2018).

Tardiveau P., Magne L. Marode E. Ouaras K., Jeanney P., Bournonville B., "Sub-nanosecond time resolved light emission study for diffuse discharges in air under steep high voltage pulses", *Plasma Sources Sci. Technol.*, 25, 054005 (2016).

A. Brisset, K. Gazeli, L. Magne, S. Pasquiers, P. Jeanney, E. Marode, P. Tardiveau, "Modification of the electric field distribution in a diffuse streamer-induced discharge under extreme overvoltage", *Plasma Sources Sci. Technol.* 28, 055016 (2019)

Tardiveau P., Magne L. Marode E. Ouaras K., Jeanney P., Bournonville B., "Sub-nanosecond time resolved light emission study for diffuse

discharges in air under steep high voltage pulses”, Plasma Sources Sci. Technol., 25, 054005 (2016).

Marode E., Dessante P., Tardiveau P., “2D Positive streamers modelling in NTP air under extreme pulse front. What about runaway electrons?”, Plasma Sources Sci. Technol., 25, 064004 (2016).

Ouaras K., Magne L., Pasquiers S., Tardiveau P., Jeanney P., Bournonville B., “ OH density measured by PLIF in a nanosecond atmospheric pressure diffuse discharge in humid air under steep high voltage pulses”, Plasma Sources Sci. Technol. (2018, in Press).

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Intégration dans l'équipe DIREBIO du LPGP. Travail en collaboration avec les membres permanents de l'équipe et avec d'autres doctorants. Suivi régulier par le directeur de thèse (réunions mensuelles)

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Le travail est expérimental et repose sur des installations existantes. Une salle entière est dédiée à l'étude des décharges sous fort champ. Sont disponibles tous les outils de diagnostics nécessaires (sondes, oscilloscopes, générateurs, spectromètre,...). Les conditions de sécurité liées à l'utilisation de très haute tension et de laser sont garanties. Des formations spécifiques sont imposées aux manipulateurs de ces outils.

Une demande de financement de projet ANR sera faite pour les années à venir.

Ouverture Internationale

Des collaborations avec des groupes de recherche étrangers pourront être envisagées au cours de la thèse, permettant de bénéficier de l'expertise et des outils de pointe développés par ces groupes (sous réserve d'obtention des financements nécessaires).

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Les objectifs de valorisation sont la publication régulière des résultats dans des revues internationales à comité de lecture (PSST, J. Phys.D,...) et la participation à des conférences (ISPC, ICPIG, ESCAMPIG, GEC, ICOPS,..).

Collaborations envisagées

Des collaborations nationales (LPP, Icare,...) permettront également d'avancer sur le sujet.

Complément sur le sujet

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02466313> (<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02466313>)

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Profil Master 2 ou Ingénieur.

Connaissances approfondies en plasmas froids et en particulier sur les plasmas froids à pression atmosphérique.

Candidat intéressé par l'approche expérimentale.

Master graduate or Engineer

Deep knowledge in non-equilibrium plasmas and, more specifically, in cold plasmas at atmospheric pressure.

Candidate interested in experimental work.

Dernière mise à jour le 15 mars 2022